

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Приладобудівний

(повна назва факультету)

Приладобудування

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ М.Д. Гераїмчук  
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Дипломний проект**

на здобуття ступеня бакалавра

з напрямку підготовки 6.051003 Приладобудування

на тему: Ваговимірювальна система для зважування рідких речовин в русі

Виконав (-ла): студент (-ка) 4 курсу, групи ПІ-51  
(шифр групи)

Криницький Олександр Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник старший викладач Зайцев В.М.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультант технологічний професор, д.т.н. Антонюк В. С.

(назва розділу)

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент директор ТОВ ВНПК «ЕЛІС Лтд» Петренко І.В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному  
проекті немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань.

Студент Криницький О.В.

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет Приладобудівний  
(повна назва)

Кафедра Приладобудування  
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки 6.051003 Приладобудування  
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ М.Д. Гераїмчук  
(підпис) (ініціали, прізвище)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проект студенту**

\_\_\_\_\_ Криницькому Олександру Васильовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Ваговимірювальна система для зважування рідких речовин в русі

керівник проекту Зайцев Віктор Миколайович, старший викладач  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 р. № \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом проекту 10 червня 2019р.

3. Вихідні дані до проекту

Тип об'єктів, маса яких визначається - цистерни залізничні; Найбільша границя зважування, т – 150,0; Найменша границя звадування, т – 2,0;

Границя основної приведеної похибки – 0,5%. Тип ваговимірювальних перетворювачів – тензорезисторні, зсувні; Діапазон робочих температур – мінус 30 °С – 60 °С; Типи вагів – стаціонарні;

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити) Вступ; Обґрунтування необхідності проектування на основі критичного огляду аналогів; Розробка принципових схем системи та ваговимірювального датчика. Розрахунок основних характеристик датчика; Аналіз точності ваговимірювальної системи; Технологічний розділ. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Складальні кресленики ваговимірювальної системи та ваговимірювального перетворювача – 2 арк. ф. А1; Робочі кресленики деталей – 1 арк. ф. А1. Лист принципових схем та графічних залежностей – 1 арк. ф. А1;

6. Консультанти розділів проекту (роботи) \*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технологічний	Антонюк В. С., професор, д.т.н.		

7. Дата видачі завдання 10 квітня 2019 р.

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1.	Розробка принципових схем системи та її елементів	15 травня 2019 р.	
2.	Розробка графічної частини проекту	2 червня 2019 р.	
3.	Проведення розрахунків системи	5 червня 2019 р.	
4.	Виконання технологічного розділу проекту	6 червня 2019 р.	
5.	Оформлення пояснювальної записки	7 червня 2019 р.	
6.	Представлення дипломного проекту на перевірку керівникові проекту	8 червня 2019 р.	
7.	Передача матеріалів проекту на перевірку виявлення збігів/схожості текстів Unichesk	9 червня 2019 р.	
8.	Представлення проекту на рецензію	10 червня 2019 р.	
9.	Представлення проекту на затвердження завідуючому кафедрі	12 червня 2019 р.	
10.	Передача електронної версії проекту до бібліотеки	13 червня 2019 р.	
11.	Представлення проекту до екзаменаційної комісії	18 червня 2019 р.	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

О. В. Криницький

(ініціали, прізвище)

Керівник проекту

\_\_\_\_\_ (підпис)

В. М. Зайцев

(ініціали, прізвище)

\_\_\_\_\_

## ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ\*

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	2	
2	A4	ДП ПІ-5108.00.000 ПЗ	Пояснювальна записка	52	
3	A1	ДП ПІ-5108.01.000 ТК			
4	A1	ДП ПІ-5108.02.000 ТК			
5	A1	ДП ПІ-5108.03.000 ТК			
6	A1	ДП ПІ-5108.04.000 ТК			

				ДП ХХХХ 00.000.00		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Криницький О.В.			Відомість дипломного проекту	Лист	Листів
Керівн.	Зайцев В.М.				1	1
Консульт.					КПІ імені Ігоря Сікорського Гр. ПІ-51	
Н/контр.						
Зав.каф.						

---

\* Відомість виконується згідно зі Стандартом відповідної галузі економіки

***Пояснювальна записка  
до дипломного проекту***

на тему: Ваговимірювальна система для зважування рідких речовин в  
русі

---

*Київ – 2019 року*

## Анотація

Дипломний проект бакалавра складається із пояснювальної записки та чотирьох креслень на А1. Пояснювальна записка складається з двох розділів та містить: 21 рисунок, 4 таблиці.

Метою дипломного проекту стало проектування ваговимірювальної системи, щоб зважувати цистерни та вагони на залізниці, а саме розроблені зважувальні шпали з зсувними тензOMETричними датчиками, які і будуть проводити дане зважування. У першому розділі пояснювальної записки приведений аналіз існуючих типів та систем для зважування ваги в русі та обґрунтовано необхідність та актуальність проектування даного пристосування. У другому розділі були проведені розрахунки на технологічність з метою оцінки швидкості та простоти складання даного пристрою. Також було розроблено структурну та технологічну схеми складання виробу.

Ключові слова: *тензодатчик, вимірювання ваги в русі, зважування рідких речовин у русі.*

					ДП ПІ-5108.00.000 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		5

## Annotation

The bachelor diploma project consists of an explanatory note and four drawings on A1. The explanatory note consists of two sections and contains: 21 figures, 4 tables.

The purpose of the diploma project was to design a weighing system for weighing tanks and railroad cars, namely weighing benches with sliding strain gauges that weighing will be developed. In the first section of the explanatory note, an analysis of existing types and systems for weighing the weight in motion is presented and the necessity and relevance of the design of this adaptation is substantiated. In the second section, calculations were made on technology to evaluate the speed and ease of assembly of this device. Structural and technological schemes for product assemblies were also developed.

Key words: strain gauge, measurement of weight in motion, weighing of liquid substances in motion.

					<i>ДП ПИ-5108.00.000 ПЗ</i>	Лист
						6
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ ТЕРМІНІВ .....	8
ВСТУП .....	9
1. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ .....	10
1.1 ОБҐРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ НА ОСНОВІ КРИТИЧНОГО ОГЛЯДУ АНАЛОГІВ .....	10
1.1.1 Аналіз процесу зважування на вагонних вагах .....	12
1.1.2 Аналіз різних типів тензометричних ваг .....	16
1.1.3 Специфіка здійснення зважування .....	19
1.1.4 Технічні характеристики .....	23
1.2 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНИХ ВИМОГ .....	25
1.2.1 Загальні вимоги .....	25
1.2.1 Основні параметри і розміри .....	25
1.3 ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОСТІ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ..	25
1.3.1 Тензорезистори .....	26
1.3.2 Вибір клею .....	27
1.3.3 Вибір матеріалу .....	28
1.3.4 Вибір АЦП .....	28
1.4 РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВИХ СХЕМ ТА КОНСТРУКЦІЇ .....	30
1.4.1 Розробка конструкції .....	30
1.4.2 Розробка електричної схеми .....	31
1.5 РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕНЗОДАТЧИКА .....	32
1.5.1 Статична характеристика датчика .....	32
1.5.2 Розрахунок чутливого елемента .....	33
1.5.3 Амплітудно-частотна характеристика .....	40
1.6 ВИЗНАЧЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК .....	41
1.6.1 Методика розрахунку похибок .....	43



2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ .....	45
2.1 ОЦІНКА КОНСТРУКЦІЇ НА ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ .....	45
2.2 РОЗРАХУНОК ТОЧНОСТІ СКЛАДАЛЬНИХ РОБІТ .....	48
2.3 РОЗРОБКА СХЕМИ СКЛАДАЛЬНОГО СКЛАДУ .....	51
2.4 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ СКЛАДАННЯ .....	52
ВИСНОВКИ.....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	54
Додатки.....	55

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ ТЕРМІНІВ

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

РКП – робочий коефіцієнт передачі

ПЕ – пружний елемент

ТМЦ – товарно матеріальні цінності

АСУТП – автоматична система управління технологічними процесами

					ДП ПІ-5108.00.000 ПЗ	Лист
						9
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

## ВСТУП

В останні декілька років в Україні актуальними є питання зважування автомобільного та залізничного транспорту. Через великий вантажообіг в Україні, який зростає з кожним роком, постає проблема в швидкому та ефективному зваженні транспорту. Компанії з кожним днем несуть втрати із-за простоїв транспорту на залізницях та автомагістралях. Проблема в тому що компанії просто не встигають проводити процедуру зважування транспортних засобів, а це тягне за собою фінансові витрати. Особливо ця проблема постає у зважуванні вагонів та цистерн.

«Облік вантажів, що перевозяться залізницею, має величезне значення як для організації руху і правильної експлуатації рухомого складу, так і для комерційних розрахунків. Не менше значення обліку перевезених вантажів на вагонних вагах має для забезпечення якісного технологічного процесу (наприклад, при завантаженні домен і мартенів) на під'їзних коліях промислових підприємств і для внутрішньозаводського транспорту. Таке ж значення має зважування автомобільного транспорту.

Існуючий порядок зважування транспорту застарів і давно перестав задовольняти вимоги сучасних систем з управління виробництвом і ТМЦ. Зважування складу відбувається на вагонних вагах статично, для чого склад необхідно розчепити і, подаючи на вагонні ваги один вагон за іншим та зважуючи їх з зупинкою на вагах.»[2]

З огляду на різке збільшення вантажопотоку, пов'язаного зі збільшенням виробництва сировини і товарів, розвитком залізниць, проблема обліку вантажів, розпізнавання і реєстрації вагонів стала першорядною.

Борячись з вище сказаною проблемою, на сьогоднішній день зважування в русі являється одним з передових і перспективних напрямлень ваговимірювання.

# 1. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

## 1.1 Обґрунтування необхідності проектування на основі критичного огляду аналогів

Розвиток промисловості висуває ряд нових завдань, що включає в себе створення автоматизованих систем для обліку товарно-матеріальних запасів і управління виробництвом.

Наприклад, автоматизована система управління кар'єрами в своїй основі містить автомобільні ваги, що дають інформацію, яку в подальшому використовують для організації процесу видобутку і навантаження корисних копалин. Зважування статично безперервного потоку автомашин, що йдуть з інтервалом приблизно 50 м, практично неможливо. Природно, що вже кілька десятків років тому інженери прийшли до рішення про необхідність поєднання процесів зважування та руху об'єктів.

При цьому виявилася основна складність обумовлена динамічним характером процесу зважування, яка полягає в тому, що апаратура реєструє динамічну складову навантаження, викликану неминуче такими джерелами, як овальністю коліс, нерівність шляху, вітрове навантаження, вибоїни в рейках і колесах, і т. д.). Ця динамічна складова виступає, як низькочастотна періодична перешкода в якій діапазон дорівнює 3-10 Гц. Причина виникнення такого частотного діапазону полягає в основному від динамічних властивостей вагона і не залежить від конструкції вагону. Проте амплітуда такої перешкоди залежить від жорсткості ваговимірних системи.

Вагонні ваги, в яких ваговимірвальна система будується на чотирьох силовимірвальних перетворювачах, амплітуда перешкоди досягає 5-10% від постійної складової, пропорційній масі вагона, тоді коли на вагах вагонних, що побудовані на одному силовимірвальному перетворювачі, така ж сама амплітуда досягає 10-20%.

Перші пристрої для зважування на ходу представляли собою по суті статичні вагонні ваги, а для того щоб зменшення вплив динамічної складової

					ДП ПІ-5108.00.000 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		11

склад переміщався по залізниці дуже повільно. При цьому розробили особливу систему сигналізації, що допомагала машиністу зберігати та не перевищувати швидкість до 3 км / год. Та навіть завдяки такій системі похибка залишалася високою (більше 1%), а процес зважування складу був складним і тривалим.

Надалі, розвиток систем для зважування в русі пішло по шляху створення пристроїв, які володіють спеціальною обробкою результатів зважування. Ця система дозволяє виділяти постійну складову (масу об'єкта) на фоні динамічних перешкод.

Зважування в русі - це найбільш перспективний напрямок ваговимірювання, що охоплює зважування транспортних пристроїв і ряд інших важливих об'єктів в різних галузях промисловості і сільського господарства.

На сьогоднішній день одним із передових і перспективних напрямків ваговимірювання є зважуванням у русі, що дає можливість проводити зважування з високою точністю будь-яких транспортних засобів, оптимізація часу контролю і обліку переміщуваних вантажів, можливість здійснювати зважування з високою точністю будь-яких транспортних засобів та суттєвого підвищення якості обліку вантажопотоку.

Електронні ваги вагонні (залізничні) представляють собою ваговимірювальний комплекс, що складається з вантажопідйомного пристрою (платформи), що включає тензодатчики, з'єднувального короба, кабелю і електронного пристрою, що управляє, розташованого на робочому місці оператора.

На сам перед залізничні ваги, що здатні в динаміці виконувати зважування, призначаються для обліку твердих і сипучих вантажів.

Багатоплатформна система дозволяє виробляти як динамічне, так і статичне вагонне зважування. Для всіх платформ динамічні ваги, що дозволяють проведення всіх видів зважування, застосовуються на великих підприємствах. Система управління і обліку ваг залізничних стала настільки досконалою, що при інтеграції цієї системи в локальний комп'ютерній мережі підприємства і відповідному програмному забезпеченні оператор,

використовуючи зручне крісло керівника, може зручно керувати процесом зважування практично не втручаючись в хід його виконання і залишає своє крісло керівника тільки при непередбачених обставинах або в особистих цілях. А при особливому програмному забезпеченні появляється можливість досить успішно комбінувати швидке зважування цілих вагонів зі зважуванням по візках вагонів або ж поєднувати з найбільш надійним статичним зважуванням.

Але при застосуванні таких ваг обмеженням є заборона на зважування рідких матеріалів, що обумовлено діючими метрологічними стандартами. Що і ставить нове питання про зважування в русі рідких речовин на залізниці.[1]

### 1.1.1 Аналіз процесу зважування на вагонних вагах

Динамічне зважування на вагонних вагах.

Завдяки залізничним коліям, що укладені на спеціальні вантажоприймальні платформи, проводиться процес динамічного зважування вантажних вагонів, де і визначається вага під час переміщення вагонів по залізничних коліях шляхом вимірювання силового впливу на ці платформи. Займає час силового впливу, найчастіше частки секунди. Вагоні ваги такого типу - це автоматичні пристрої, які за короткі проміжки дії на ваги, проводять зважування, визначаючи значення постійної складової сили, яка безпосередньо діє на перетворювачі ваги, і реєструють зважування, передаючи його, для обробки результатів, в керуючий комп'ютер або АСУТП.

Визначення типів вагонів є важливим завданням в процесі зважування. Це потрібно для відповідного підсумовування маси осей кожного вагона, визначення правильності завантаження вагона при поосному зважуванні, а також для того щоб розпізнати локомотиви, які не підлягають зважуванню.

Визначення типів вагонів і розпізнавання локомотивів, як правило, ґрунтуються на міжосьових та міжбазових відстанях рухомих засобів. Реалізація операцій, що розпізнають рухомий склад, не викликає значних труднощів. Великі труднощі викликає розробка та виробництво так званих

колійних сигналізаторів, які повинні видавати сигнал в момент проходження осі вагона або реборди колеса над ділянкою шляху де проводиться зважування. Ці труднощі виникають тому, що сигналізатори повинні, як правило, працювати у важких кліматичних та експлуатаційних умовах, при тому що поставлені дуже високі вимоги до їхньої надійності.

При значній різноманітності конструкцій вагонних ваг для кожних з них можна виділити основні вузли: одна або кілька вантажоприймальних платформ, по яких рухається вагон при зважуванні. Ці платформи відіграють роль силопередатних пристроїв, за допомогою яких вертикальні сили, що діють на платформи, передаються на перетворювачі.

На вантажоприймальних платформах, як правило, розміщують пристрої для зменшення впливу поздовжніх сил на вагову платформ при прокочуванні вагона:

- перехідні містки, розтягують струнки, обмежувальні упори;
- один, або кілька силовимірювальних перетворювачів для перетворення сили в відповідний електричний сигнал;
- вторинний електронний прилад за допомогою шляхових керуючих пристроїв визначає тип проходження об'єкта по вантажоприймальній платформі, час початку, а іноді закінчення, процесу прийому сигналів силовимірювальних перетворювачів.

За допомогою колійних пристроїв видаються сигнали на світлофор при перевищенні допустимої швидкості під час зважування: вторинний електронний прилад, який керує процесом зважування, веде обробку вимірюваного сигналу з перетворювача і видає результат зважування на табло (для візуального відліку), а також на комп'ютер.[2]

За допомогою комп'ютера результати зважувань записуються і на їх основі формуються необхідні звіти. Тривалий час розробляються способи по ідентифікації вагонів або автомобілів. Наприклад фотометричний спосіб зчитування із спеціальних пластин (різні типи радіомаяків), що дозволяють

провести ідентифікацію вагона або автомобіля, до цього враховують й характер вантажу.

Під час розробки ваг для зважування об'єктів в русі одним із головних завдань, що стоять перед розробниками, є вибір механічного вантажоприймального пристрою.

Існують два типи таких пристроїв:

- важільні пристрої, у яких навантаження через підсумовують важелі сприймається одним силовимірювачем;
- безричажні пристрої, у яких вантажоприймальна платформа розташована на чотирьох і більше силовимірювачах.

Основними перевагами ваговимірювальних важільних пристроїв є їх стабільність, надійність та можливість щодо простого регулювання за спеціальною методикою, загальноприйнятою для ваг. Однак наявність в конструкції ваг великогабаритних громіздких важелів вимагають умов спеціальної технології їх виготовлення, що можуть бути виконані тільки на спеціалізованих заводах, які мають необхідне устаткування, та на яких досить високий рівень виробництва. Тому дрібносерійне виробництво таких пристроїв на малих підприємствах технологічно неможливо і економічно не вигідно. Крім того, для виготовлення спеціального фундаменту потрібні великі витрати.

В цьому відношенні безричажні ваговимірювальні пристрої мають істотні переваги, так як мають досить простий склад в конструктивному виконанні, можуть бути виготовлені, як в майстернях так і на досвідчених виробництвах, безпосередньо у самого замовника і вимагають набагато меншого фундаменту.

В цей час розробки вагонних ваг, призначених для зважування рухомих об'єктів, ведуться з використанням в якості силовимірювача, як тензорезисторних перетворювачів, так і вібраційно-частотних.

Вібраційно-частотні перетворювачі знаходять все більше застосування, тому що мають цілий ряд переваг (наприклад, відсутність втрат інформації, можливість без додаткових похибок дистанційної передачі, простота побудови



ліній зв'язку, велика стійкість і, що має дуже важливе значення, простота обробки вихідних сигналів).

Якщо при застосуванні у вагонних вагах важільного вантажопідйомного пристрою, то достоїнством при виборі типу перетворювача з врахуванням вище перерахованих переваг бути віддано вібраційно-частотному перетворювачу. Обсяг вторинної апаратури при цьому, не дивлячись на необхідність введення блоку, що здійснює лінеаризацію характеристики перетворювача, не перевищує обсяг апаратури, що працює в комплекті з тензорезисторні перетворювачами, тому що остання повинна мати аналого-цифровий перетворювач. Динамічна похибка нелінійного усереднення, наявна під час вимірюванні навантаження, застосовуючи вібраційно-частотні датчики, дуже мала і нею можна знехтувати.

Під час використання у вагах безричажного вантажоприймального пристрою зазначена вище перевага зводиться до мінімуму, із-за того що наявність чотирьох вібраційно-частотних перетворювачів потребує автономної лінеаризації по чотирьом каналам для отримання лінійних ідентичних характеристик з наступним їх підсумовуванням, в результаті чого збільшується обсяг апаратури і значно ускладню процес налагодження приладу . У вагах ж з тензорезисторним силовимірювачем дане питання можна вирішити набагато простіше, шляхом послідовного або паралельного з'єднання силовимірювальних перетворювачів.

У свій час проводилися роботи по застосуванню в ваговимірювальних системах магніто-пружних перетворювачів, однак ці перетворювачі значно поступаються за точністю тензорезисторним і вібраційно-частотним. Силопередавачі пристрої та перетворювачі встановлюються в прямку бетонного фундаменту вагонних ваг. Рейки підхідних шляхів на деякій відстані від вагонних ваг також укладають на бетонну основу для зменшення вертикальних коливань рухомого складу. Комп'ютер разом із вторинним електронним блоком розміщують в спеціальному приміщенні.

«Основна вимога до автоматичних ваговимірювальних пристроїв, полягає в забезпеченні точності зважування, що задовольняє встановленим нормам. В даний час існують чотири норми точності зважування 0,1; 0,2; 0,5 і 1% від маси вантажу, що перевозиться.

При зважуванні розчеплених вагонів на важільних вагонних вагах норми точності 0,5 і 1% виконуються порівняно легко. Норма точності 0,1 в даний час не може бути задоволена і на важільних вагонних вагах класу 0,1, так як при зважуванні на таких вагах необхідно враховувати масу тари, яка складає приблизно 25% від маси брутто!

При зважуванні в русі до похибки самого автоматичного ваговимірювального пристрою додаються похибки, викликані способом зважування, впливом автозчеплення, прискоренням, динамікою системи вагон - ваги, які значно впливають на остаточний результат зважування.

Аналіз цих похибок показує, що норма точності зважування 0,1% може бути забезпечена тільки для сумарної маси складу з 10-20 вагонів, норма точності 0,5% - практично для будь-якої сумарної маси складу, а також для розчеплених вагонів, що рухаються по інерції, норма точності 1% - для маси вантажу в кожному вагоні в складі поїзда.»[2]

### 1.1.2 Аналіз різних типів тензометричних ваг

Сучасний ринок пропонує споживачам широкий діапазон моделей ваговимірювальних систем. Але частіше за все використовують три основних типи. Розглянемо їх більш детально.

#### ***Ваги вагонні платформні***

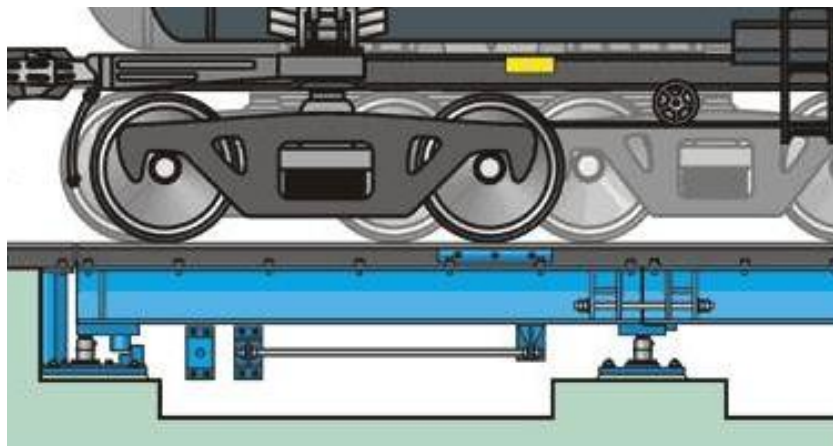


Рисунок 1.1 – Ваги вагонні платформені

Інша назва виробу - тензометричні вагонні. Це логічний розвиток конструкції ваг механічних важільних. Платформа, яка бере вантаж, інакше іменована «міст», конструктивно змонтована на тензометричних датчиках. Щоб останні могли давати точні показання при різних зовнішніх температурах використовуються їх конструкції, що мають сферичні опорні поверхні, що дозволяє платформі «самоцентруватись». Платформні ваги можуть бути виконані за схемою з важільним, або з безричажним пристроєм. У першому випадку навантаження через блок підсумкових важелів передається на один силовимірювача. У другому випадку платформа розміщується безпосередньо на силовимірювача, яких може бути чотири і більше. До переваг першого типу конструкцій можна віднести їх стабільність, надійність і можливості щодо нескладної регулювання. До мінусів - неможливість самостійного виготовлення важелів на заміну (можуть проводитися тільки на спеціалізованих заводах) і дорожнеча виконання спеціальних фундаментів під такі ваги. Безричажні конструкції згаданих недоліків не мають. Ваги зазначених типів можуть використовуватися для виконання статичних або динамічних зважувань. В останньому випадку швидкість руху вагонів, що зважуються, при переміщенні по платформі обмежується 15 км / год. Можливий монтаж у варіанті універсальних ваг вагонних, які поєднують обидві ці можливості. [6]

#### ***Ваги вагонні типу «датчик-шпала»***



Рисунок 1.2 – Ваги вагонні «датчик-шпала»

Якісні зразки аналогічних конструкцій з'явилися на ринку тільки на початку цього століття. Такі ваги технічно дозволяють виконувати зважування без використання вантажоприймальної платформи. Для цього рейки укладаються на вагові опори спеціальної конструкції. Подібні конструкції дозволяють з високим ступенем точності виконувати зважування під час руху складу зі швидкостями до 60 км / год. У той же час вони зберегли можливості для виконання статичних зважувань.[6]

#### ***Ваги вагонні «датчик-рейка»***



Рисунок 1.3 – Ваги вагонні «датчик-рейка»

Конструкція зазначеного типу є ділянкою залізничної рейки, перетворений певним чином в датчик сили з двома опорами. Конструкції даного типу найчастіше використовуються при зважування в динаміці на швидкостях до 60 км / год. Але при цьому зважування в статиці виконувати на них вкрай складно, так як дана охоплює короткі «вагові ділянки», через що на

них точно виставити всі колеса вагона дуже непросто. Тим більше, що різні конструкції у вагонів мають різну базу.

### 1.1.3 Специфіка здійснення зважування

Переваги та недоліки режимів зважування в русі може виконуватися в трьох режимах:

- поосне;
- повізкове;
- повагоне.

Спосіб зважування вибирають по результатам такої інформації: необхідна точність результатів виконання зважування, швидкість, що максимально можлива при переміщенні складу під час зважування та капітальні витрати на монтаж системи.



Рисунок 1.4 – Поосного зважування

Перший варіант (поосне зважування) з огляду на його не високу продуктивність використовується вкрай рідко та відслідковується тенденція щодо повної відмови від нього. Так як під час виконання поосного зважування підвищується значення ймовірності перерозподілу по осях навантаження. Позбутись цього негативу можна, зробивши вибір максимально жорстких та більш ретельного вкладання залізничного шляху.





Рисунок 1.5 – Повізкове зважування

Зважування повізкове найчастіше використовується тоді, коли необхідно зважити сипучі або рідкі вантажі, в'язкість яких понад 59 кв.мм / с. Воно виконується за два рази. Визначається маса на першій візку, запам'ятовується, зважується наступна візок. Отриманий результат підсумовується. Це шукана маса вагона. [6]

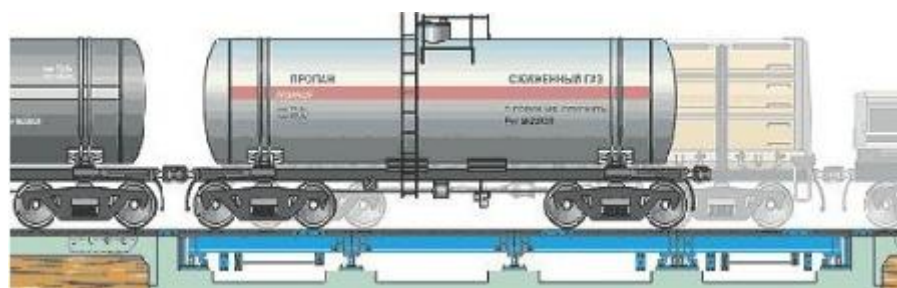


Рисунок 1.6 – Повагонне зважування

Зважування вагонними в даний час є найбільш перспективно розвиваються напрямком, тому конструкції ваг, що дозволяють виконувати саме зазначені процедури, є найбільш затребуваними на ринку. Пояснюється це зручністю виконання зважування і високою точністю одержуваних результатів. Дана методика може використовуватися у випадках необхідності динамічного зважування вагонів з рідкими вантажами, в'язкість яких менше 59 кв.мм / с. Існують конструкції ваг, технічно дозволяють здійснювати або статичне зважування, або динамічний. Причому останнє може виконуватися як

повізково, для одних груп вагонів, так і повагонно, для інших. Ваги зазначених типів іменуються універсальними.[6]

### ***Переваги та недоліки режимів зважування***

З точки зору точності отриманих результатів повагонний метод визнають найкращим. Пояснюється це тим, що може виникати перерозподіл маси на осях вагона і на візках вагона в процесі руху, що й призводять до похибок вимірювання.

Недоліком даного методу вважається наявність вельми великих габаритів платформи для ваг вагонних, до того ж ці ваги розраховані, на вагони тільки з одним типом міжповізкової відстані.

При виникненні необхідності зважувати вагони інших типів або інших габаритів, то зробити це в зчепленому стані в русі і повагонно майже неможливо.

Якщо виконується зважування на гірці в розчепленому стані, то довжина платформи повинна задаватись габаритами найбільшого вагона.



Рисунок 1.7 – Ваги повізкового зважування

При такій точці зору зважування повізкове вважається набагато кращим, тому що дає змогу переважну більшість типів вагонів зважувати. Але і цей

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ДП ПІ-5108.00.000 ПЗ

Лист

22

метод потребує застосування досить великої вагової платформи (до 8000мм), програвши, як повагонному, методу поосного зважування.

Діапазон переміни діючих навантажень в цьому випадку вкрай малий. Пояснюється це тим, що даний діапазон від типу вагона при прикладеному навантаженні на вісь залежить мало. У будь-якому вона коливається в межах 20 тонн при умовах повного завантаження. У такому випадку, у перетворювачі точність вимірювання підвищується і він працює практично в кінці діапазону.

Зважування повізкове дає розкид від 40 (у вагоні чотиривісних) до 80 (в восьмивісний) тонн. Вагонними - від 80 до 160 тонн.

Основні вузли конструкції вагонних ваг



Рисунок 1.8 – Комбінування для зважування в динаміці та в статиці

Хоча кількість типів і різноманітність конструкцій залізничних ваг, що використовуються в наш час, дуже велика, всі вони мають основні вузли, до яких можна віднести одну, або кілька вантажоприймальних платформ (пристроїв, що їх замінюють).

Ці платформи містять в конструкції пристрої, які дозволяють уникати або знижати до мінімуму вплив поздовжніх сил, що створені при прокочуванні вагона на ваговій платформі. Конструкції можуть бути таких типів:

- містки перехідні, струнки розтягують або упори обмежувальні;
- перетворювач силовимірювальний (один і більше), що формує необхідний електричний сигнал;
- керуючі шляхові пристрої, за допомогою яких вторинна електроніка визначає тип об'єкта, що зважується, час початку (в деяких моделях і



закінчення) прийому відповідного сигналу перетворювача силовимірювальний.

#### 1.1.4 Технічні характеристики

Приймаючи рішення про придбання тих чи інших ваг, в першу чергу аналізують такі технічні характеристики:

- значення НмГЗ (найменшого) і НГЗ (найбільшої) границь зважування;
- ціна (ε) повірочної поділки і дискретність (d) відліку;
- клас точності ваг відповідно до стандарту ДСТУ OMIL R134;
- межі дозволеної похибки (залежать від класу точності) при первинній перевірці;
- напрямок руху; швидкість руху при виконанні зважування;
- характеристики потрібного електричного живлення (напруга, частота, потужність);
- дозволені умови експлуатації; масово-габаритні характеристики пристрою;
- що входить до комплекту поставки.

Все вищевикладене дозволяє зробити висновок про те, що найбільш оптимальним рішенням при купівлі залізничних ваг є придбання ваг тих конструкцій, які дозволяють здійснювати динамічне зважування без розчеплення составу, що складається з вагонів будь-яких існуючих типів.

Незважаючи на те, що кращі зразки таких ваг коштують досить дорого, економити в зазначеному випадку не слід, так як подібна «економія» в довгостроковій перспективі обернеться відчутними збитками.

## 1.2 Розробка технічного завдання

### 1.2.1 Загальні вимоги

а) Ваги повинні відповідати вимогам цих ТУ, комплекту конструкторської документації згідно із специфікацією ААЛГ.14.000.00 та проектної документації на установку ваг, яка погоджена у встановленому порядку;

б) Матеріали та комплектуючі вироби, що застосовуються для виготовлення ваг, повинні мати паспорти або сертифікати відповідності чи інші документи, що підтверджують їх відповідність діючим НД. Комплектуючі вироби повинні проходити вхідний контроль;

г) Тип ваговимірювальних перетворювачів – тензорезисторні, зсувні.

### 1.2.2 Основні параметри і розміри

а) Найбільша границя зважування, т – 150,0;

б) Найменша границя зважування, т – 2,0;

в) Границя основної приведенної похибки – 0,5%;

г) Діапазон робочих температур – мінус 30 °С – 60 °С.

## 1.3 Вибір і обґрунтування оптимальності технічних рішень

При перевезенні рідких речовин в цистерні змінюється центр мас, так як рідина у русі не залишається нерухомою. Тому для того, щоб зважувати рідкі речовини, потрібно зважувати одразу усю цистерну.

Для даного завдання я обрав повізкове зважування. Але при цьому повізкове зважування відбуватиметься одразу на двох візках цистерни. Тобто на залізничній дорозі буде розташовуватись два сектори для зважування

					ДП ПІ-5108.00.000 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		25

повізково. Відстань між секторами встановлюватиметься відповідно під різні типами цистерн.

Сектори будуть складатись із зважувальних бетонних шпал. Переваги такого типу зважування в тому, що дані шпали володіють більш високоточним вимірюванням за аналоги. Тензодатчик буде мати монолітну структуру, тому його точність буде вищою. Встановлення даних шпал значно простіше за встановлення платформених ваг.

### 1.3.1 Тензорезистори

Дія тензорезисторів основана на принципі зміни опору металів і напівпровідників під дією деформації. Розрізняють тензорезистори провідникові, фольгові, напівпровідникові і плівкові.

У напівпровідникових тензорезисторах висока чутливість, але складність монтажу, велика чутливість до температур та погана пружність. Для тензодатчика, що проектується в даному проекті я зупинив вибір на фольговому тензорезисторі. Так як фольгові тензорезистори мають, в порівняння з провідниковими, більш високою тепловідачею, що дозволяє подавати на них більш високий струм, та завдяки цьому повисити чутливість вимірювальної схеми. На фольгові тензорезистори практично не піддаються впливу перпендикулярних деформацій щодо повздовжної осі на вихідний сигнал із-за наявності поперечних перемичок. Номінальний опір дорівнює 50...400 Ом. Діапазон розмірів бази від 1 до 20 мм. Діапазон вимірювальних відносних деформацій  $3 \dots 10 \cdot 10^{-3}$ .

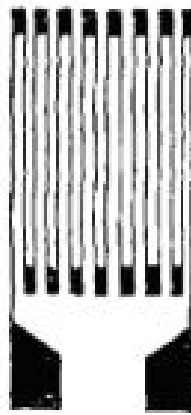


Рисунок 1.9 – Фольговий тензорезистор

Тензорезистори приклеюються на вільну поверхню пружного елемента в тому місці, де необхідно визначити деформацію поверхні слоїв при дії навантаження. Завдяки жорсткому зв'язку між тензорезистором і між робочою зоною ПЕ, а також завдяки незначній жорсткості тензорезистора у всіх напрямленнях деформація практично буде рівна деформації поверхні ПЕ.

Основною характеристикою тензорезистора – це коефіцієнт тензочутливості  $k_T$ , номінальний активний опір в базі  $L$ . Чутливість тензорезистора до деформації характеризується коефіцієнтом тензочутливості:

$$k_T = \frac{\varepsilon_R}{\varepsilon_l}$$

де  $\varepsilon_R$  – відносна зміна опору в тензорезисторі,  $\varepsilon_R = \frac{\Delta R}{R}$ ;

$\Delta R$  – абсолютна зміна опору в тензорезисторі;

$R$  – номінальний активний опір тензорезистора;  $\varepsilon_l$  – відносна деформація тензорезистора,  $\varepsilon_l = \frac{\Delta l}{l}$ ;

$\Delta l$  – абсолютна деформація тензорезистора в напрямі поздовжньої вісі;

$l$  – початкова довжина тензорезистора.

Найбільш поширеними і ефективними матеріалами для виготовлення фольгових тензорезисторів – константан, ніхром, ізоеластик, карма і т.д.

Найпоширенішим матеріалом для тензорезисторів – константан, завдяки незмінній тензочутливості, також при переході від пружних деформацій до

пластичних відсутні істотні зміни. Константан володіє високим питомим опором і температурною стабільністю.

### 1.3.2 Вибір клею

Клей, який використовують для наклеювання тензодатчика на пружний елемент, повинен мати високу міцність, стабільність протягом тривалого періоду часу та лінійну пружність.

Комбінація датчика: його несуча основа та клеї потребують самої серйозної уваги. Для наклеювання потрібно застосовувати апробіруємі клеї та обов'язково дотримуватись процедури нанесення та сушіння.

В якості клею найбільш широкого застосування набули епоксидна смола, метил-2-ціаноакріад, деякі види кераміки і полімід.

Для даної я зупинився на виборі ціаноакріад, так як він не вимагає ні нагрівання, ні спеціальних засобів для затверджування, для ініціювання полімеризації.

Для прискорення полімеризації на одну з поверхонь може бути нанесений каталізатор. Завдяки дуже швидкої полімеризації цей клей є ідеальним компонентом для тензодатчиків загального призначення. Хвилинного натискання великим пальцем і двох хвилинної паузи виявляється достатньо. Він може використовуватися в діапазоні температур від  $-32$  до  $+65$  °С. Він забезпечує правильний вимір деформації не вище 6%. Міцність клею знижується з часом через поглинання води, тому його необхідно захищати при тривалій експлуатації.[1]

Після того, як клей затвердіє, тензодатчик потрібно покрити герметиком (каучук, парафін, полімерітан).

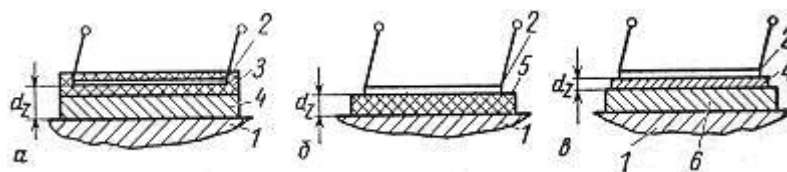


Рисунок 1.10 – Конструкція тензорезисторних чутливих елементів

а) і б) – конструкції звичайні, що мають товстий клейовий шар  $dz$ ; в) – приклад сучасної конструкції з нанесеним тонким клейовим шаром  $dz$ .

1- ПЕ; 2- тензорезистор; 3- основа тензорезистора; 4- шар клею; 5- підкладка, що просочена клеєм; 6- ізоляційний шар з чудовими механічними властивостями

### 1.3.3 Вибір матеріалу

Якість та точність тензодатчика залежить від багатьох параметрів, один з головних параметрів являється матеріал ПЕ. Найкращим матеріалом для розробки ПЕ являється марка сталі 40ХН2МА, яка має високий модуль пружності та менше піддається температурному впливу.

### 1.3.4 Вибір АЦП

Існує два типи тензодатчиків аналогові та цифрові. В даному дипломному проєкті розробляється цифрові тензодатчика, так як вони мають низку переваг: в системах цифрових тензодатчиків перетворення аналогового сигналу в цифровий проходить одразу в тензодатчику і при цьому данні про вагу ми можемо побачити, як окремо з кожного датчика, так і загальну вагу з усіх; здатність проводити самодіагностику при якій буде ясно який з тензодатчиків вийшов з ладу; передача інформації від датчика до апаратури, яка оброблює данні з ваг, може відбуватись на відстані 1200м.

Беручи до уваги умови експлуатації АЦП, та конструкцію тензодатчика, даний перетворювач потрібно розмістити біля тензодатчика під шаром герметиком. Так ми збільшуємо тривалість експлуатації АЦП та інших впливів на точність перетворення даних. Тому найкращим варіантом для використання АЦП AD01.



Рисунок 1.11 – АЦП AD01

## 1.4 Розробка принципових схем та конструкції

### 1.4.1 Розробка конструкції

Дана конструкція складається з зважувальної бетонної шпали, яка оснащена високоточними зсувними тензометричними датчиками. Дана конструкцію розміщено під нерозрізною рейкою.

Тензометричний датчик застосовується для вимірювання ваги, яка діє безпосередньо на нього. ПЕ датчика представляє собою жорстко закріплену балку з двох сторін. Фольговий тензодатчик, який наклеєний на пружний елемент, деформується при навантаженні на балку, яка прогинається.

Загальна кількість наклеєних тензорезисторів 4, верхня частина яких сприймає силу стиснення, а нижня силу розтягу. Всі тензорезистори з'єднані мостовою схемою, напруга на виході якої при несинусоїдній напрузі живлення пропорційно вимірюваному навантаженню сили. Як наслідок деформації ПЕ ваговимірювального датчика змінюють вихідний сигнал. За допомогою тензорезисторів виконується перетворення цих деформацій, які змінюють їх опір вихідної напруги, яка в свою чергу буде відрізнятись від тієї яка була на вході. Для визначення зміни опору під час деформації використовується мостова схема.

Присутня лінійна залежність вихідного сигналу від деформації.

					ДП ПІ-5108.00.000 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		30

### 1.4.2 Розробка електричної схеми

Вимірювання за допомогою тензодатчиків вимагають фіксування дуже малих змін опору. Для того щоб вимірювати настільки малу зміну опору і компенсувати температурну похибку, тензодатчики практично завжди використовують в мостовій схемі (міст Уїтстона, рисунок...), підключеної до джерела напруги або струму (джерела живлення мосту).

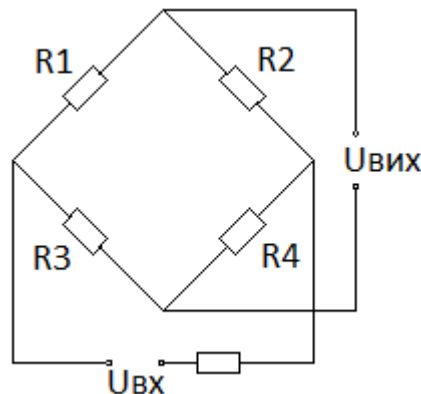


Рисунок 1.12 – Електрична мостова схема

Напруга живлення моста повинна бути по можливості великою, щоб збільшити відношення сигналу до шуму, але в той же час досить малим, щоб мінімізувати похибку, викликану саморозігрівом датчика. Тому найоптимальнішою напругою буде 12В.

Для перевірки правильності калібрування вимірювальної схеми використовують резистор з відомим (каліброваним) значенням опору, яким шунтують тензодатчик. Показання вимірювальної системи повинні відповідати розрахунковим значенням, що відповідають відповідному опору.

Вихідна напруга вимірювального моста повинна дорівнювати:

$$U_{\text{вих}} = U_{\text{жив}} \left[ \frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right] \quad (1.1)$$

При умові балансу мосту ( $R_1/R_2 = R_3/R_4$ ) вихідна напруга повинна дорівнювати  $U_0 = 0$ .



Нехай при виникненні деформації на ПЕ опір тензорезистора зміниться на плечі  $R_1$ , і цю абсолютну зміну опору позначимо через  $\Delta_1$ . Тоді вихідна напруга буде виглядати так:

$$U_{\text{вих}} = U_{\text{ж}} \cdot \frac{\Delta_1 + R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \quad (1.2)$$

Зробимо наступне:

$$U_{\text{вих}} = U_{\text{ж}} \cdot \frac{\frac{(\Delta_1 + R_1)R_4}{R_2R_4} - \frac{R_2R_3}{R_2R_4}}{\frac{R_1 + R_2}{R_2} \cdot \frac{R_3 + R_4}{R_4}} \quad (1.3)$$

$$U_{\text{вих}} = U_{\text{ж}} \cdot \frac{\frac{\Delta_1}{R_2} + \frac{R_1}{R_2} - \frac{R_3}{R_4}}{\frac{R_1 + R_2}{R_2} \cdot \frac{R_3 + R_4}{R_4}} \quad (1.4)$$

Так як  $\Delta_1/R_1 = \varepsilon$  і виходячи з властивості мостової схеми відношення опорів  $R_1/R_2 = R_3/R_4 = k$ , то підставивши у формулу .... ми отримаємо зміну вихідну напругу:

$$U_{\text{вих}} = U_{\text{ж}} \cdot \frac{k}{(k + 1)^2} \varepsilon_{R_1} \quad (1.5)$$

## 1.5 Розрахунок основних характеристик тензодатчика

### 1.5.1 Статична характеристика датчика

Використовуючи структурну схему датчика, що наведена на рисунку 1.13 проведемо розрахунок його статичної характеристики

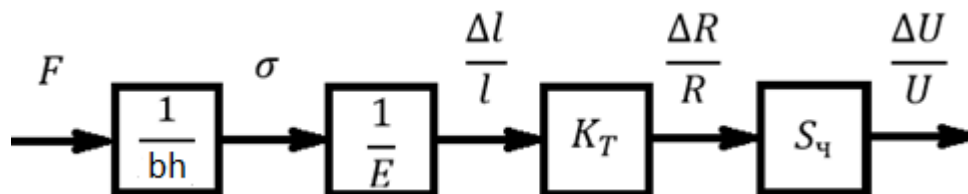


Рисунок 1.13 – Структурна схема тензодатчика

Структурна схема тензорезисторного датчика сили представляє собою послідовно з'єднаних трьох вимірювальних ланок.

Сила  $F$ , що діє на ПЕ і деформує його. При цьому сила перетворюється в напруження. З напруження за законом Гука виникає відносна деформація пружного елемента. Дана деформація сприймається тензорезистором і перетворюється в зміну опору  $\Delta R$  в ньому. Змінний опір тензористора в вимірювальному ланцюзі перетворюється у величину вихідної напруги  $U_{\text{вих}}$ . Беручи до уваги структурну схему можна побачити, що датчик має лінійну характеристику, яка виражається в залежності:

$$U_{\text{вих}} = f(F, \varepsilon, \Delta R) \quad (1.6)$$

Подальший розрахунок приводить до визначення значень параметрів вимірювальних перетворювачів структурної схеми. Найбільш складним в даному випадку буде розрахунок залежності:

$$\varepsilon = f(F) \quad (1.7)$$

Так як необхідно провести розрахунок опору матеріалів; напруження в перерізі пружного елемента, що має двотаврову конфігурацію. Визначення донної залежності розглянута при розрахунку чутливого елемента.

Чутливість тензорезистора до деформацій на пружному елементі характеризується коефіцієнтом тонзочутливості.

$$k_T = \frac{\varepsilon_R}{\varepsilon_l} \quad (1.8)$$

де  $\varepsilon_R$  – відносна зміна опору тензорезистора  $\varepsilon_R = \Delta R/R$ ;  $\Delta R$  – абсолютна зміна опору тензорезистора;  $R$  – номінальний активний опір тензорезистора.

Коефіцієнт тензочутливості фольгових тензорезисторів складає 2,0..2,2 – номінальний опір 200 Ом. База складає 6мм.

На основі залежності  $k_T$  можна визначити залежність  $\Delta R$  від відносної деформації для одного тензорезистора:

$$\Delta R = k_T \varepsilon_l R \quad (1.9)$$

Підставивши в дане рівняння значення відносної деформації, дає можливість визначити залежність  $\Delta R$  від сили, що прикладається.

Для отримання вихідного сигналу використовується мостова схема. В даній схемі знаходиться 4 робочих плеча. На мостову схему подається

$$U_{\text{жив}} = 12\text{В}.$$

Вихідний сигнал буде визначатись за формулою:

$$U_{\text{вих}} = U_{\text{жив}} \frac{k(\varepsilon_{1R} + \varepsilon_{2R} + \varepsilon_{3R} + \varepsilon_{4R} + \varepsilon_{1R}\varepsilon_{4R} - \varepsilon_{2R}\varepsilon_{3R})}{(k+1)(k+1+k\varepsilon_{1R}-\varepsilon_{2R}-k\varepsilon_{3R}+\varepsilon_{4R}) + (k\varepsilon_{1R}-\varepsilon_{2R})(\varepsilon_{4R}-k\varepsilon_{3R})} \quad (1.10)$$

При  $\varepsilon_{1R} \ll 1$ ,  $\varepsilon_{2R} \ll 1$ ,  $\varepsilon_{3R} \ll 1$ ,  $\varepsilon_{4R} \ll 1$  отримаємо:

$$U_{\text{вих}} = U_{\text{жив}} \frac{k}{(k+1)^2} (\varepsilon_{1R} + \varepsilon_{2R} + \varepsilon_{3R} + \varepsilon_{4R}) \quad (1.11)$$

де  $k = R_1/R_2 = R_3/R_4$  коефіцієнт симетрії мостової схеми. При  $k = 1$  чутливості максимальна.

Вихідний сигнал залежить від величини дисбалансу мостової схеми, який потребує, щоб тензорезистори в протилежних плечах мали однаковий знак напружень, що прикладаються, а в суміжних плечах мали протилежний знак. Тому тензорезистори  $R_1$  і  $R_4$  необхідно наклеювати на напруження стиску,  $R_2$  і  $R_3$  – розтягу.

### 1.5.2 Розрахунок чутливого елемента

Чутливий елемент, що використовується в проектованій системі повинен забезпечувати зсувну деформацію в області наклеювання тензорезисторів. У відповідності з чим чутливий елемент буде мати форму балки і для створення зсуву в центральній частині, що навантажується потрібно висвердлити циліндричні отвори на які наклеюють тензорезистори.

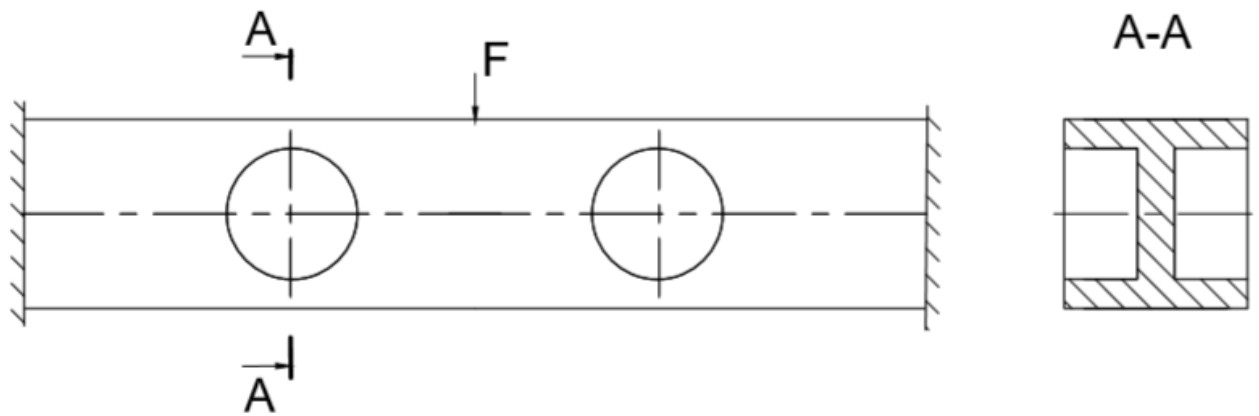


Рисунок 1.14 – Схема ПЕ

Визначення геометричних параметрів виконується із параметрів міцності, для цього необхідно визначити напруги, що виникають в розрізі, що ми розглядаємо.

Для представлення сил, що діють на чутливий елемент, потрібно побудувати епюру сил і моментів, що створені прикладеним зусиллям.

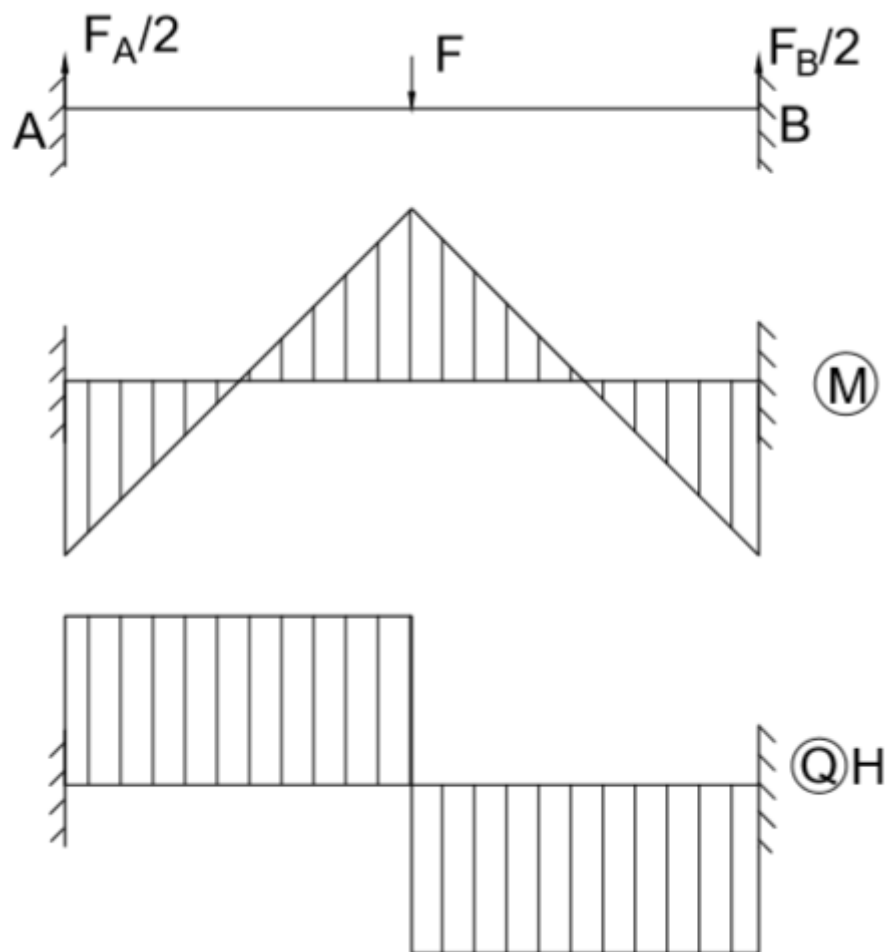


Рисунок 1.15 – Схема епюру сил і моментів

Відносна деформація  $\varepsilon$  визначається із рівняння закону Гука

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (1.12)$$

де  $\sigma$  – напруження, що виникає при прикладанні зусилля;

$E$  – модуль Юнга рівний  $E = 1,8 \cdot 10^{11}$ ;

Для визначення напруження потрібно розглянути механізм зсувного напруження. В якості прикладу можна розглянути елементарну площадку (рисунок 1.16) в якій виникають дотичні напруження при дії сили.

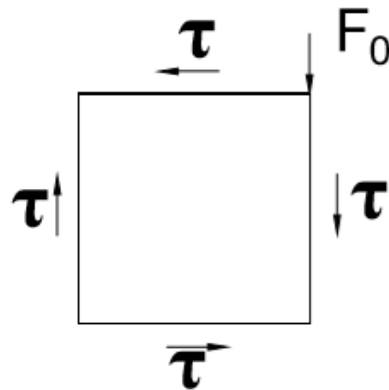


Рисунок 1.16 – Площадка напружень

В результаті отримаємо деформацію, яка має вигляд:

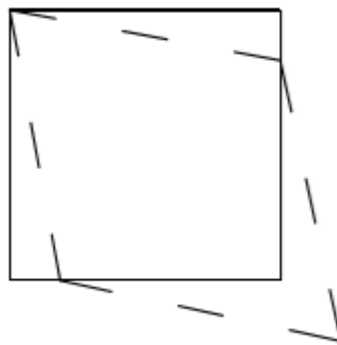


Рисунок 1.17 – Площадка після впливу деформації

Дотичні напруження діють на елементарну площу, що визначаються за формулою Журавського:

$$\tau = \frac{QS}{I_z b} \quad (1.13)$$

де  $Q$  – сила, що прикладена до балки;

$S$  – статичний момент площі перерізу;

$b$  – ширина перерізу;

$I_z$  – момент інерції перерізу відносно осі  $z$ .

З рисунка 1.18 ми бачимо що переріз ПЕ має форму двутавра. Даний переріз має наступні геометричні параметри:

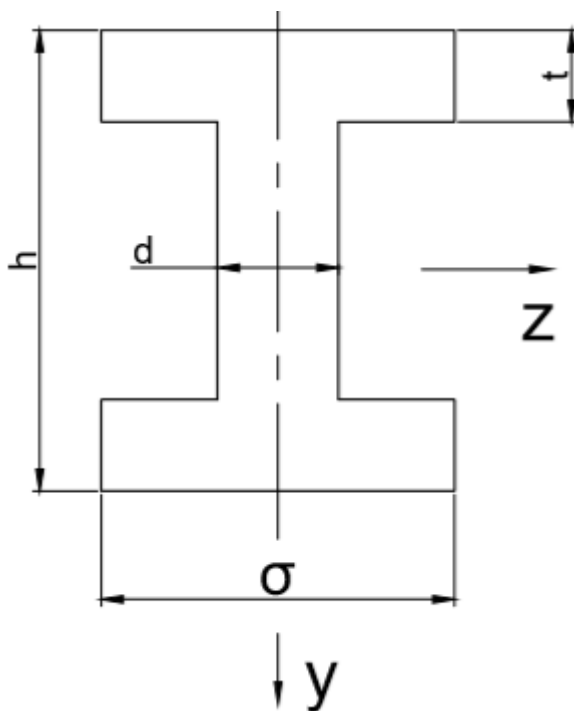


Рисунок 1.18 – Переріз ПЕ

Визначимо для даної фігури статичні моменти і моменти інерції. Так як фігура симетрична то розбивши її на окремі частини можна побачити, що статичний момент для полки зі зменшенням значення по осі  $y$  дорівнює:

$$S_1(y) = \frac{bh^2}{8} \left[ 1 - \frac{4y}{h^2} \right] \quad (1.14)$$

При подальшому зменшенні значення по осі  $y$  ми маємо різне зменшення площі перерізу. І для цієї області статичний момент буде визначатись як сума статичного моменту полки і відповідного значення по осі  $y$  статичного моменту перемички.

$$S_2(y) = bt \left( \frac{h}{2} - \frac{t}{2} \right) + d \left( \frac{h}{2} - t - y \right) \left( y + \frac{1}{2} \left( \frac{h}{2} - t - y \right) \right) \quad (1.15)$$

Вчислимо момент інерції двутаврового перерізу відносно осі  $z$ . Сумарний момент інерції складається з суми моментів інерції полочок і перемички.

$$I_z = I_z^I + I_z^{II} + I_z^{III} \quad (1.16)$$

де момент інерції полки відносно осі z дорівнює:

$$I_z^I = I_z^{III} = \frac{bt^3}{12} + \left(\frac{h-t}{2}\right)^2 bt \quad (1.17)$$

І момент інерції перемички

$$I_z^{II} = \frac{d(h-2t)^3}{12} \quad (1.18)$$

Звідки маємо загальну формулу

$$I_z = 2 \left[ \frac{bt^3}{12} + \left(\frac{h-t}{2}\right)^2 bt \right] + \frac{d(h-2t)^3}{12} \quad (1.19)$$

Підставляючи значення статичних моментів і моментів інерції враховуючи навантаження і ширину перерізу можна визначити дотичні напруження для даного перерізу.

Так як в реальності крім дотичних напружень при згині існують і нормальні напруження:

$$\sigma = \frac{My}{I_z} \quad (1.20)$$

Так як  $\sigma$  залежить від моменту, що згинає балку, а він як видно з епюри моментів при збільшенні плеча прикладання навантаження збільшується. Тому для зменшення впливу нормальних напружень розтягу-стискання на величину  $\sigma$  основної площі напружень, яка визиває відносну деформацію у відношенні з законом Гука.

У відношенні з вище викладеним матеріалом можна побудувати епюри дотичних і нормальних напружень для даного перерізу:

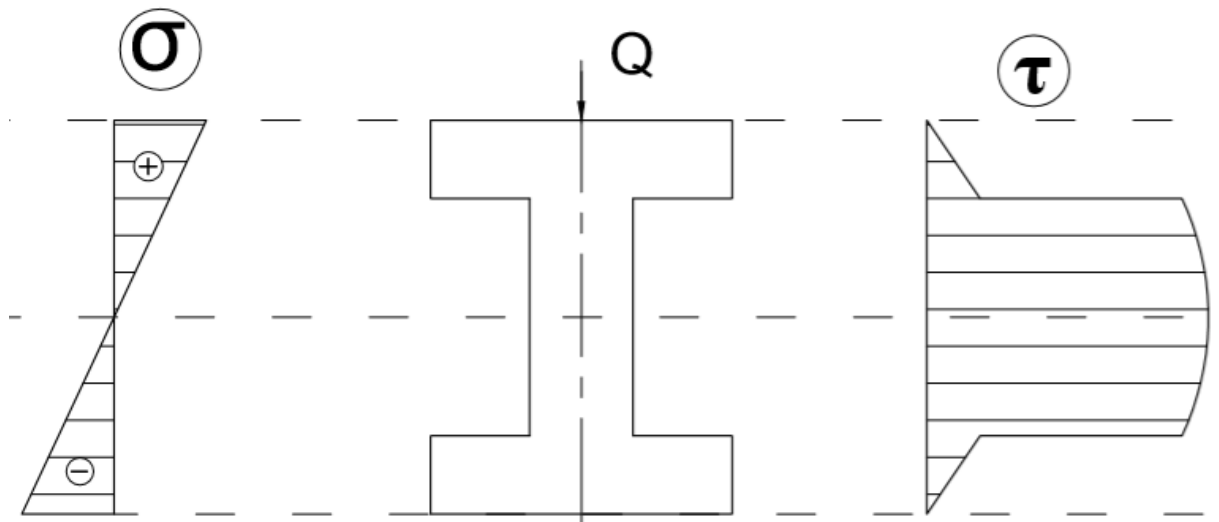


Рисунок 1.19 – Епюра дотичних і нормальних напружень

Як видно на епюрі в центральній області нормальні напруження мають мінімальні напруження, дотичні ж навпаки в цій області досягають максимум.

В зв'язку з цим, що дотичні напруження не визивають лінійну деформацію, тому нам потрібно визначити  $\sigma$  основної площадки напружень. Ця площадка має вигляд

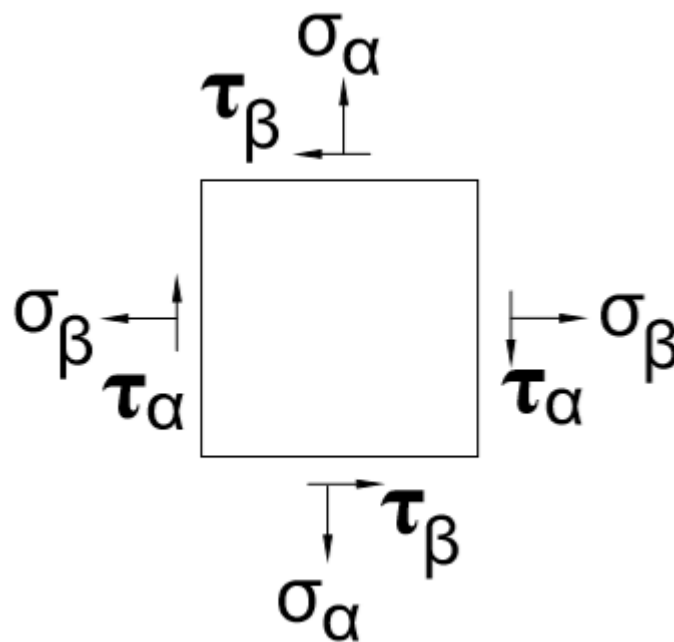


Рисунок 1.20 – Площадка напружень

$$\sigma_1 = \frac{1}{2} \left[ \sigma_\alpha + \sigma_\beta + \sqrt{(\sigma_\alpha - \sigma_\beta)^2 + 4\tau_\alpha^2} \right] \quad (1.21)$$



$$\sigma_2 = \frac{1}{2} \left[ \sigma_\alpha + \sigma_\beta - \sqrt{(\sigma_\alpha - \sigma_\beta)^2 + 4\tau_\alpha^2} \right] \quad (1.22)$$

Враховуючи те, що для нашого випадку  $\sigma_\alpha = 0$ , а при  $\sigma_\beta$  визначених умов у порівнянні мало, то  $\sigma$  основної площадки буде визначатись дотичним напруженням і приблизно рівні йому.

Тому при визначені кута повороту елементарної площадки до положення основної площадки у відповідності з формулою тангенс кута:

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{-\tau_\alpha}{\sigma_1 - \sigma_\beta} \quad (1.23)$$

У відповідності з формулою і наведеними вище припущеннями кут  $\alpha_0$  буде рівним  $\alpha = -45^\circ$

Основна площадка напруження при цьому виглядатиме так:

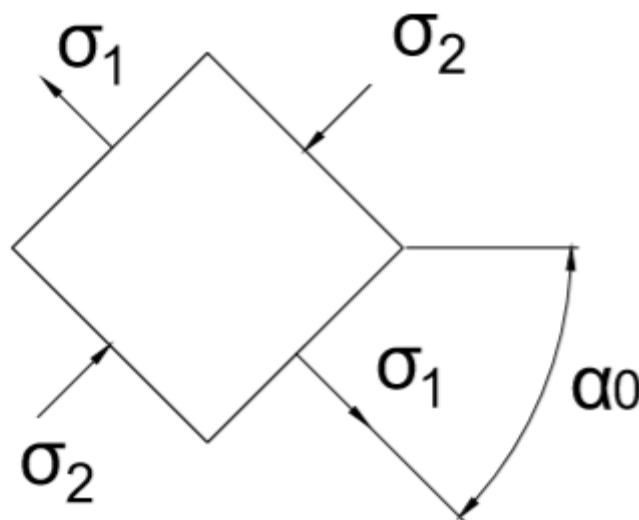


Рисунок 1.21 – Площадка напружень

Відповідно з цим, ми можемо визначити напрям розташування витків тензорезистора, що сприймає як розтягуючі так і стискуючі напруження. Крім того, потрібно взяти до уваги, що вище осі симетрії напруження розтягуватимуться, а нижче осі стискатимуться.

Використовуючи вище наведені формули проведемо розрахунок товщини перемички тензодатчика.

Зв'язок між силою і поздовжньою деформацією в тензодатчику, що проектуємо діє за таким принципом:

$$\varepsilon = \frac{F}{S_{\Pi} \cdot E} \quad (1.24)$$

$S_{\Pi}$  – площа поперечного перерізу балки.

В формулу вихідної напруги 1.11 підставимо формулу 1.24:

$$U_{\text{вих}} = U_{\text{жив}} \frac{k}{(k+1)^2} k_T \frac{F}{S_{\Pi} \cdot E} (1+1+1+1) \quad (1.25)$$

Розписавши площу поперечного перерізу отримаємо:

$$U_{\text{вих}} = U_{\text{жив}} \frac{k}{(k+1)^2} \cdot k_T \cdot 4 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{bh} \cdot \frac{F}{E} \quad (1.26)$$

З формули 1.26 виражаємо  $b$  для знаходження товщини балки:

$$b = \frac{k}{(k+1)^2} \cdot k_T \cdot 4 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{h \cdot \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{жив}}}} \cdot \frac{F}{E} \quad (1.27)$$

$$b = \frac{1}{(1+1)^2} \cdot 2,1 \cdot 4 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{0,035 \cdot 2,21 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{300000\text{Н}}{2,1 \cdot 10^{11}} = 0,058\text{м}$$

### 1.5.3 Амплітудно-частотна характеристика

Амплітудно-частотна характеристика – це залежність відношення вихідного сигналу до вхідного від частоти коливання системи.

Для того, щоб визначити дану залежність скористуємося виразом

$$A(\omega) = \left| \frac{l^3}{48EJ - \omega^2 l^3 (M + 1,6M_B)} \right| \quad (1.28)$$

Отримане АЧХ належить системі другого порядку з параметрами що використовуються для приблизного опису пружної системи з балочними елементами. Прирівнявши до нуля знаменник АЧХ, отримаємо вираз для нижнього значення частоти власних незатухаючих коливань.

$$\Omega_0 = \sqrt{\frac{48EJ}{l^3 (M + 1,6M_B)}} \quad (1.29)$$

де  $M_B$  – маса балки.

На нульовій частоті АЧХ завдяки формулі ....., маємо статичний коефіцієнт перетворення:

$$A(0) = k_c = \frac{l^3}{48EJ} \quad (1.30)$$

Середнє значення відносної деформації на ділянці з координатами  $x_1, x_2$  і при підстановці зображення буде виглядати:

$$\varepsilon_{cp1,2}(p) = \frac{\gamma h F(p)}{x_2 - x_1} \cdot \frac{[U(\gamma l)T(\gamma x) - T(\gamma l)U(\gamma x)]_{x_1}^{x_2}}{2EJ\gamma^3 A(\gamma l) + Mp^2 D(\gamma l)} \quad (1.31)$$

З формули 1.34 за допомогою заміни  $p=j\omega$  виходить АЧХ пружної системи:

$$A(\omega) = \left| \frac{3hl(1 - \frac{x_1 + x_2}{l})}{48EJ - \omega^2 l^3 (M + 1,6M_B)} \right| \quad (1.32)$$

Нехай тензорезистори R2 і R4 мають координати  $x_1, x_2$ , а R1 та R3- координати  $x_3, x_4$ . Тоді, підставивши АЧХ зі знаком плюс для  $x_1$  та  $x_2$  і зі знаком мінус для  $x_3$  та  $x_4$ , отримаємо амплітуду вихідної напруги датчика:

$$U_d(\omega) = U_{ж} \frac{Fk_T}{2} \cdot \frac{6h(x_3 + x_4 - x_1 - x_2)}{48EJ - \omega^2 l^3 (M + 1,6M_B)} \quad (1.33)$$

На нульовій частоті ця величина буде рівна:

$$U_d(0) = U_{ж} \frac{Fk_T}{2} \cdot \frac{6h(x_3 + x_4 - x_1 - x_2)}{48EJ} \quad (1.34)$$

Прирівнявши формули 1.36 та 1.37 знайдемо оцінку приведеної динамічної похибки датчика с балковою пружною системою:

$$\gamma_d(\omega) = \frac{U_d(\omega)}{U_d(0)} - 1 = \frac{\omega^2 l^3 (M + 1,6M_B)}{48EJ - \omega^2 l^3 (M + 1,6M_B)} \quad (1.35)$$

## 1.6 Визначення метрологічних характеристик

Для оцінки похибок вимірювання датчика сили необхідно знати окремі складові похибок, що відображають фізичні властивості вимірювання.

Основним показником при розрахунку метрологічних характеристик датчиків сили являються РКП мВ/В. По величині робочого коефіцієнта передачі можна зробити висновок про оптимально вибраної конструкції і порівняти з другими перетворювачами.

Категорія точності – комплекс складних похибок (систематична, гістерезисна, нелінійна, випадкова, вимірювання початкового коефіцієнта передачі і робочого коефіцієнта передачі при впливі кінематичних факторів) позначених числом, що відповідає граничному значенню кожного з перелічених похибок.

Даний датчик сили має наступні технічні характеристики [σ]:

- номінальне значення сили
- категорії точності
- значення нижньої границі вимірювання номінального значення сил
- значення РКП при номінальному значенні сили
- значення нагального коефіцієнта передачі

Допустимі значення похибок датчика вказані в таблиці 1.1

Таблиця 1.1

№	Найменування похибок	Допустимі значення похибки		
		0,04	0,06	0,1
1	Систематична складова похибки	0,04	0,06	0,1
2	Середнє квадратичне відхилення випадкових складових похибки	0,02	0,03	0,05
3	Нелінійність	0,04	0,06	0,1
4	Гістерезис	0,0	0,06	0,1
5	Зміна НКП при зміні температури на 1°C	0,002	0,003	0,005
6	Зміна РКП при зміні температури на 1°C	0,002	0,003	0,005

### 1.6.1 Методика розрахунку похибок

Похибки датчика можна визначити шляхом вимірювання коефіцієнтів передачі при трьохкратному навантаженні датчика за допомогою зразкових силових вимірювальних машин по ГОСТ 14017-68 або еталонною установкою безпосереднього навантаження в прямій і зворотній послідовності.

Статичну складову похибок  $\gamma_{ci}$  від номінального значення робочого коефіцієнта на  $i$ -ому ступені навантаження, визначаємо по формулі:

$$\gamma_{ci} = \frac{0,5(k_i - k_{звi})k_{pi}}{k_H} \cdot 100 \quad (1.39)$$

де  $k_i, k_{звi}$  – середнє значення РКП на  $i$ -ому ступені, відповідно в прямій і зворотній послідовності навантаження.

$k_{pi}$  – розрахункове значення РКП на  $i$ -ому ступені навантаження, визначається завдяки відпошенню:

$$k_{pi} = k_{Hi}/n \quad (1.40)$$

де  $i$  – порядковий номер ступеня навантаження

$k_H$  – номінальне значення РКП

Значення РКП визначається, як різниця між вимірюваного коефіцієнта передачі і початкового коефіцієнта передачі для першого навантаження.

Гістерезис  $\gamma_{gi}$  від номінального значення РКП на  $i$ -ому ступені навантаження визначається формулою:

$$\gamma_{gi} = \frac{(k_{звi} - k_i)}{k_H} \cdot 100 \quad (1.41)$$

Середнє квадратичне відхилення випадкової похибки від номінального значення РКП на  $i$ -ому навантаженні визначаємо по формулі:

$$\gamma_{cki} = \frac{1}{k_H} \sqrt{\frac{\sum_{l=1}^m (kl_i - k_i)^2 \pm \sum_{l=1}^m (k_{звl_i} - k_{звi})^2}{2m - 1}} \cdot 100 \quad (1.42)$$

де  $kl_i, k_{звl_i}$  – значення робочого коефіцієнта передачі в прямій і зворотній послідовності напруження для  $i$ -ого ступеня навантаження;

$l$  – порядковий номер циклу навантаження;

$m$  – кількість циклів навантаження на відповідному ступені.

Нелінійність  $\gamma_{\text{нелі}}$  від номінального значення робочого коефіцієнта передачі на  $i$ -ому ступені навантаження визначаємо за формулою:

$$\gamma_{\text{нелі}} = \frac{kl_i - \frac{k_{\text{ср}i}}{n}}{k_n} \cdot 100 \quad (1.43)$$

де  $k_{\text{ср}}$  – середнє виміряне значення робочого коефіцієнта передачі при номінальному навантаженні за нормальних умов.

					ДП ПІ-5108.00.000 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		45

## 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Оцінка конструкції на технологічність

Об'єктом технологічного розділу виступає бетонна зважувальна шпала, що являється складальною одиницею ваговимірною системою.

Технологічністю конструкції являється властивість, яка дозволяє здійснити виготовлення даної конструкції найбільш раціональними і простими методами. Технологічність конструкції приладу та його деталей потрібно розглядати, як функцію масштабу випуску даного виробу, рівня серійності в умовах окремого виробництва з урахуванням особливостей цього виробу.

Конструкція буде технологічною, якщо матиме найбільш короткий виробничий цикл і найменшу трудомісткість, також якщо має найбільшу уніфікацію й нормалізацію складальних одиниць та деталей, можливість автоматизації процесу складання при найменшій кількості матеріалів та обладнання.

Для усіх виробів ставляють наступні задачі при відпрацюванні конструкції на технологічність:

- 1) застосування стандартних складових частин;
- 2) використання уніфікованих складових частин;
- 3) використання уніфікованих деталей;
- 4) можливість застосування типових технологічних процесів.

Для зручності та наочності проведення розрахунків представимо таблиці переліком та кількістю уніфікованих та не уніфікованих деталей, складальних одиниць, або вузлів.

Таблиця 2.1 – Перелік вузлів приладу

№	Найменування	Кількість
1	СК1	2

Таблиця 2.2 – Не уніфіковані деталі

№	Найменування	Кількість
1	Пружний елемент	2
2	Каркас	2
3	Балка	1
4	Підкладка	2
5	Кришка	8

Таблиця 2.3 – Уніфіковані деталі

№	Найменування	Кількість
1	Болт прижимний	4
3	Заставний болт	4
4	Клема	4
5	Гайка	4
6	Заставна шайба	4
7	Шайба пружинна двохвиткова	8
8	Гермоввід	2
9	Підкладка рейкова	2
10	Тензорезистор	8
11	АЦП	2

**Показники оцінки технологічності:**

- Показник уніфікації конструкції виробу:

$$K_y = \frac{N_y + n_y}{N + n} \quad (2.1)$$

де  $N_y$ ,  $n_y$  – число уніфікації складальних одиниць та деталей в конструкції;

$N$ ,  $n$  – число всіх складальних одиниць у виробі та всіх деталей в ньому.



$$K_y = \frac{N_y + n_y}{N + n} = \frac{42 + 0}{42 + 17} = 0,61$$

За показником уніфікації дана складальна одиниця є технологічною.

2. Показник складності конструкції виробу:

$$K_{CB} = \frac{N}{n} \quad (2.2)$$

де  $N$  – кількість складальних одиниць у виробі;

$n$  – число всіх деталей у виробі.

$$K_{CB} = \frac{N}{n} = \frac{32}{57} = 0,56$$

Чим більше значення набуває коефіцієнт  $K_{CB}$ , тим виріб більш технологічний. При високому значенні коефіцієнта легше проводити складання та полегшується контроль якості складального процесу.

Порівняльний аналіз можна проводити із орієнтовних умов технологічності:

Якщо  $K_{CB} < 0,2$  – низька технологічність;

$K_{CB} = 0,2 \dots 0,4$  – задовільна;

$K_{CB} > 0,4$  – добра.

Так як показником складності конструкції  $K_{CB} > 0,4$ , технологічність даної одиниці добра.

3. Показник уніфікації застосовуваних складальних процесів:

$$K_{TP} = \frac{Q_{TP}}{Q_T} \quad (2.3)$$

$Q_{TP}$  – число типових технологічних операцій, уніфікованих в умовах випуску виробу даного профіля;

$Q_T$  – число всіх необхідних операцій для складання заданого виробу.

$$K_{TP} = \frac{Q_{TP}}{Q_T} = \frac{6}{8} = 0,75$$

Орієнтовні умови для порівняльного аналізу:

$K_{TP} < 0,5$  – низька технологічність;

$K_{CB} = 0,5 \dots 0,75$  – задовільна технологічність;

$K_{CB} > 0,75$  – добра технологічність.

					ДП ПІ-5108.00.000 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		48

Показник уніфікації застосовуваних складальних процесів  $K_{CB} > 0,75$  задовольняє технологічність.

## 2.2 Розробка технологічного процесу складання

Проектування технологічного процесу складання вимагає до себе вибір найбільш раціональних процесів і способів складання, визначення послідовності з'єднання деталей і складальних одиниць, регулювання і контролю одиниць, регулювання і контролю виробу з вказаним пристосуванням і робочим інструментом.

Розбиття приладу на складальні одиниці призводить до зменшення виробничого циклу та його виготовлення за рахунок організації паралельного складання складальних одиниць.

Проектування технологічного процесу складання складається з наступних етапів:

- На основі вибору організаційної форми складання з урахуванням конструктивних особливостей виробу, умов взаємозамінності і т.д.;
- Здійснюється вибір метода складання виходячи із вказівок взаємозамінності і прийнятої організаційної форми складання.

## 2.3 Розрахунок точності складальних робіт

Розрахунок точності складання у визначені фізичної взаємозамінності пристрою, а означає отримати потрібну величину вихідного параметра в заданому діапазоні в усій партії пристрої, що розробляються. Вихідний фізичний параметр пристрою являється похідною від цілого ряду первинних параметрів і характеристик з якими він знаходиться в визначеній функціональній залежності. Тому фізичну взаємозамінність також називають функціональною.

Визначення похибки ширини пружного елемента, що застосовується в донному ваговимірному пристрої.

Для даного типу датчика вихідна напруга визначається по формулі:

$$U_{\text{вих}} = U_{\text{жив}} \cdot \frac{k}{(k+1)^2} \cdot \left( \frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_4}{R_4} - \frac{\Delta R_2}{R_2} - \frac{\Delta R_3}{R_3} \right) \quad (2.4)$$

$$U_{\text{вих}} = U_{\text{жив}} \cdot \frac{k}{(k+1)^2} \cdot k_T \cdot 4 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{bh} \cdot \frac{F}{E} \quad (2.5)$$

Звідси:

$$b = \frac{k}{(k+1)^2} \cdot k_T \cdot 4 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{h \cdot \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{жив}}}} \cdot \frac{F}{E} \quad (2.1)$$

де  $k_T$  – коефіцієнт тензочутливості,  $k_T = 2,1 \pm 0,1$ ;

$F$  – максимальне навантаження,  $F = 30000 \pm 600H$

$h$  – вхідний опір датчика,  $h = 35 \pm 0,01$  мм

$E$  – модуль пружності,  $E = 210 \pm 10 \cdot 10^9$

$\frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{жив}}}$  – РКП,  $\frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{жив}}} = 2,21 \pm 0,002 \frac{\text{мВ}}{\text{В}}$ ;

$$\delta_b = \sqrt{\left( \left. \frac{\partial b}{\partial h} \right|_h \cdot \delta_h k_h \right)^2 + \left( \left. \frac{\partial b}{\partial \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{жив}}}} \right|_{\frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{жив}}}} \cdot \delta_{\frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{жив}}}} k_{\frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{жив}}}} \right)^2 + \left( \left. \frac{\partial b}{\partial k_T} \right|_{k_T} \cdot \delta_{k_T} k_{k_T} \right)^2} \quad (2.7)$$

Частина похідної по змінних параметрів представляють у вигляді:

$$\frac{\partial b}{\partial h} = \frac{k}{(k+1)^2} \cdot k_T \cdot 4 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{h^2 \cdot \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{жив}}}} \cdot \frac{F}{E} \quad (2.8)$$

$$\frac{\partial b}{\partial \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{жив}}}} = \frac{k}{(k+1)^2} \cdot k_T \cdot 4 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{h \cdot \left( \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{жив}}} \right)^2} \cdot \frac{F}{E} \quad (2.9)$$

$$\frac{\partial b}{\partial F} = \frac{k}{(k+1)^2} \cdot k_T \cdot 4 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{h \cdot \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{жив}}}} \cdot \frac{1}{E}; \quad (2.10)$$

$$\frac{\partial b}{\partial h} = \frac{1}{(1+1)^2} \cdot 2,1 \cdot 4 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{0,035^2 \cdot 2,21 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{300000}{210 \cdot 10^9} = 1,6;$$

$$\frac{\partial b}{\partial \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{жив}}}} = \frac{1}{(1+1)^2} \cdot 2,1 \cdot 4 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{0,035 \cdot (2,21 \cdot 10^{-3})^2} \cdot \frac{300000}{210 \cdot 10^9} = 26,32;$$

$$\frac{\partial b}{\partial k_T} = \frac{1}{(1+1)^2} \cdot 4 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{0,035 \cdot 2,21 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{300000}{210 \cdot 10^9} = 2,7 \cdot 10^{-2};$$

Якщо припустимо, що дані випадкові змінні розподілені по нормальному закону, то  $k=1$ , звідси отримуємо похибку вихідної напруги

$$\delta_b = \sqrt{(1,6)^2 \cdot (0,01 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1^2 + (2,6)^2 \cdot (0,002 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1^2 + (2,7 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 0,1^2 \cdot 1^2}$$

$$\delta_b = 0,00027 \text{ м}$$

що становить 0,46% товщини від товщини балки. Отримана похибка задовольняє умови експлуатації.

## 2.4 Розробка схеми складального складу

Схема складальних одиниць будується на основі аналізу конструкції даного виробу. Всю конструкцію виробу можна умовно розкласти на окремі менш складні елементи, а інші в менш складні одиниці. Схема складальних одиниць представляє собою розгалуджену структурну схему з'єднання елементів, належність частинам виробу, внутрішній взаємозв'язок. Згідно ГОСТ 2.101-68, виріб складається із: деталей, складальних одиниць, комплексів. Деталь – найпростіша структурна одиниця. Складальні одиниці можна отримати шляхом складання деталей. На найнижчому ступені розташовуються деталі, що позначаються прямокутниками з казаним номером за специфікацією, найменування деталей та їх числа. Вище на другому ступні розташовуються складальні одиниці першого ступеня складання. Ще вище – складальні одиниці другого ступеня складання, як з'єднання більш складні із простих. На верхньому ступеню схеми розташовується сам виріб.

В основному схеми використовуються для аналізу та синтезу виробу в процесі складання, а також знаходить своє використання при оцінюванні складності виробу при технологічній підготовці виробництва.

Розроблена схема складання представлена у додатку А.

## 2.5 Розробка технологічної схеми складання

На базі схеми складальних одиниць будується технологічна схема складання.

Послідовність складання, способи забезпечення з'єднань, похибка і вміст процесу регулювання, випробування і контролю визначає технологічна схема складання точної бетонної ваговимірювальної шпали.

Технологічна схема складання допомагає аналізу конструкції елемента з технологічної точки зору, дозволяє вносити зміни в конструкцію пристрою, спрощуючи технологічний процес.

Верхня горизонтальна лінія виступає, як загальне складання виробу, а вертикальні лінії та інші нижні горизонтальні лінії виступає, як вузлове складання. Розроблена технологічна схема складання представлена у додатку Б.

					ДП ПІ-5108.00.000 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		52

## ВИСНОВКИ

В дипломному проекті бакалавра було розроблено концепцію ваговимірювальної системи зважування рідких речовин в русі на основі огляду аналогів та аналізу систем зважування в русі.

Розроблені ваги відповідають вимогам ДСТУ ОМІЛ R134, цих ТУ, комплекту конструкторської документації згідно із специфікацією ААЛГ.14.000.00 та проектною документації на установку ваг.

У проектно-конструкторському розділі було проведено аналіз видів зважування вагонів та ваги що зважують їх у русі. За оглядом було вибрано ваговимірювальну повізкову систему, що дає можливість зважувати рідкі речовини у русі. Зроблено вибір щодо комплектуючих тензодатчика та проведено розрахунки основних характеристик зсувного тензодатчика. Основними критеріями вибору стали точність РКП, швидкість зважування та здатність зважувати у русі рідких речовин. Розроблено методику розрахунку похибок.

В технічному розділі було проведено оцінка на рівень технологічності складальної одиниці (бетонної зважувальної шпали) за основними критеріями, а саме за показником уніфікації конструкції виробу, який має значення 0,61; за показником уніфікації застосованих складальних процесів, що набув хорошого значення технологічності 0.75; та за показником складності конструкції виробу значення якого дорівнює 0.56, та має добру технологічність.

Було проведено розрахунок точності складальних робіт за допомогою метода фізичної взаємозамінності, завдяки якому визначили допуски товщини ПЕ, що становить  $+0,27/-0,27$  мм. Розроблено структурну та технологічну схему виробу.

					ДП ПІ-5108.00.000 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		53

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

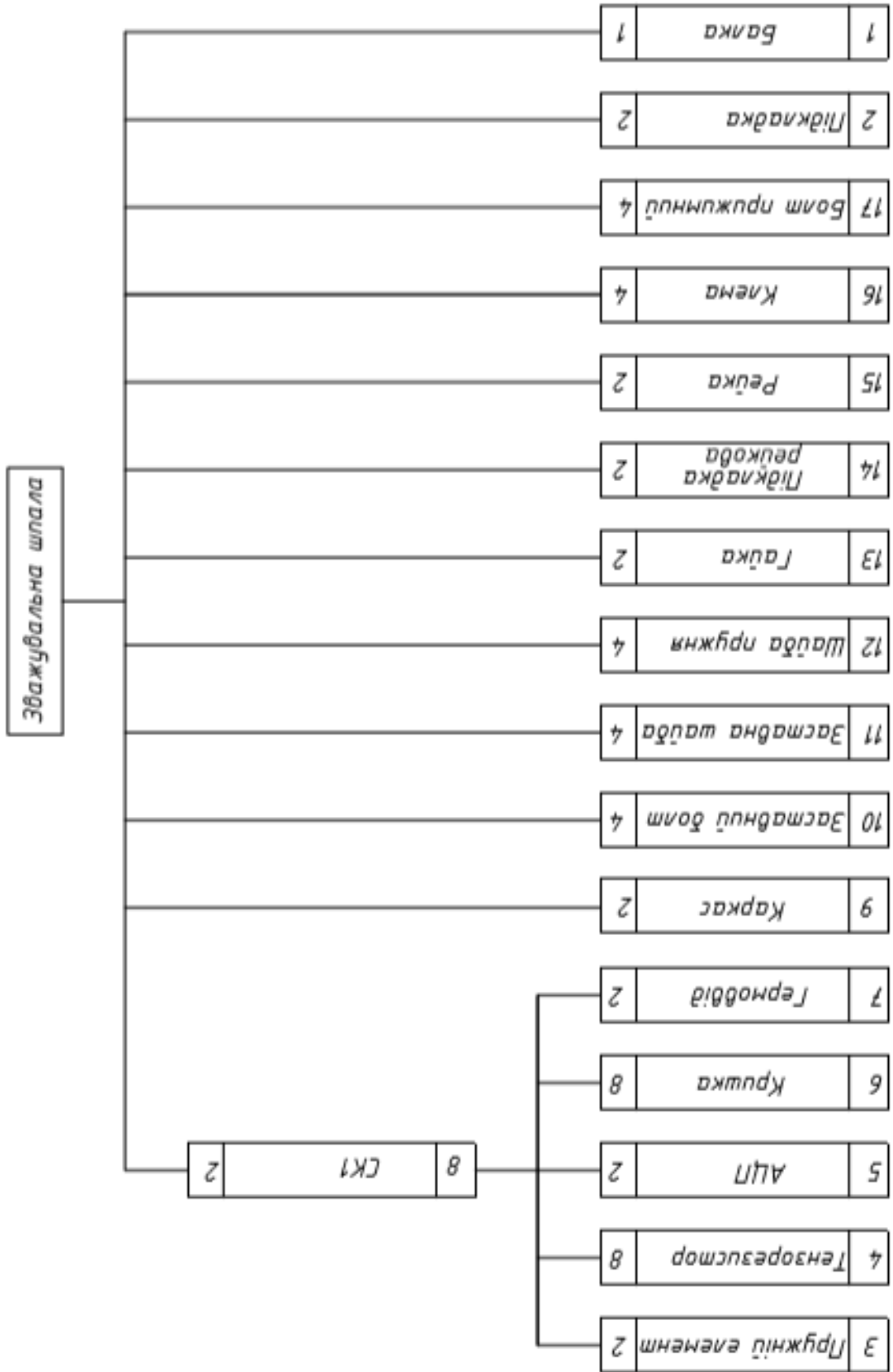
1. [Електронний ресурс] – <https://unipro.com.ua/ua/obschye-svedenyaya-o-tenzorezystorah/>
2. [Електронний ресурс] – [http://tbncom.com/publ/zh\\_d\\_perevozki\\_railway\\_transport/zh\\_d\\_perevozki\\_railway\\_transport/vesy\\_vagonnye\\_zheleznodorozhnye\\_vzveshivanie\\_vagonov/6-1-0-38](http://tbncom.com/publ/zh_d_perevozki_railway_transport/zh_d_perevozki_railway_transport/vesy_vagonnye_zheleznodorozhnye_vzveshivanie_vagonov/6-1-0-38)
3. [Електронний ресурс] – <https://www.twirpx.com/file/114704/>
4. [Електронний ресурс] – <https://www.twirpx.com>
5. [Електронний ресурс] – <http://www.metallosnab.com.ua/krug-40xn2ma>
6. [Електронний ресурс] - <https://kilogramus.ru/vzveshivanie-v-promyshlennosti/vagonnye-vesy-dlya-vzveshivaniya-v-dvizhenii.html>
7. Вигода Ю.А. Спеціальні режими датчикової апаратури Учеб. Пособие Пенза политехн.ин-т: 1989. - 72с.
8. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В., Справочник по сопротивлению материалов - Киев :1988.- 736с.
9. Вичервин А.Е., Соколов Ф.Г. Строительство железнодорожного пути Высшая школа. М: 1965. -290 с.
10. Проектирование датчиков для измерения механических величин: / Под ред. Е. П. Осадного. – М. : Машиностроение, 1979. – 480 с.
11. Гроссман Н.Я., Шнырев Г.Д. Автоматизированные системы взвешивания и дозирования – М. Машиностроение 1988.- 296с.
12. Никитин А. К., Зайцев В.Н., Григорович В.Н. Методические указания «Приборы для измерения давленияи расхода»: Киев КПИ: 985 - с.67
13. Тимошенко С. П. Сопротивление материалов. Том 1. Издательство «Наука». Главная редакция физико-математической литературы: М: 1965. -364 с.
14. Румбешта. В. О. Технологія складання, регулювання та випробування приладів.: Підручник. – К: 2013. – 360 с.

# ДОДАТКИ

					ДП III-5108.00.000 ПЗ	Лист
						55
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		



Скруктурна схема виробу



Технологічна схема складання

